

УДК 629.423

Б. І. Мокін<sup>1</sup>  
Ю. А. Лобатюк<sup>1</sup>  
С. О. Жуков<sup>1</sup>

## СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Синтезовано структуру системи автоматичного контролю технічного стану силових електричних кіл тягового електровоза ВЛ80Р, яка дозволяє виводити на табло імовірну причину несправності та пропонує метод її усунення.*

**Ключові слова:** тяговий електровоз, електричне коло, система контролю, синтез структури, секвенціальна модель.

### Вступ

Під час експлуатації тягового електровоза ВЛ80Р можуть виникати аварійні ситуації, що призводять до відключення певних електричних комутуючих та захисних кіл.

Основними причинами, що викликають ненормальну роботу електровоза, є: порушення електричного кола внаслідок обриву проводів чи поломки шин, несправності в схемі випрямно-інверторного перетворювача і блока керування випрямно-інверторним перетворювачем; відсутність контакту на блокувальних чи силових контактах; коротке замикання внаслідок заземлення кіл, пробою ізоляції проводу, електродвигуна чи апарата; нечітка робота апаратів через понижений тиск в пневматичному колі керування і т. ін. [1]

В інструкції для машиніста описані можливі характерні несправності при роботі електровоза та способи їх усунення. Однак стан обладнання контролюється машиністом на основі індикації сигнальних ламп, що встановлені на панелі пульта. Різним комбінаціям індикації тих самих ламп відповідають різні імовірні причини несправності та способи їх усунення, що ускладнює роботу машиніста та збільшує час на прийняття певного рішення.

*Метою роботи є синтез системи автоматичного контролю (САК) технічного стану електричних силових кіл, що дозволить аналізувати стан електричного обладнання та виводити необхідну інформацію у зручному для машиніста текстовому повідомленні.*

### Результати дослідження

Розглянемо електричне обладнання електровоза ВЛ80р, що забезпечує роботу силових електричних кіл як під час нерухомого електровоза, так і під час тягового режиму і режиму рекуперативного гальмування. Зокрема зосередимо увагу на несправностях, пов'язаних з функціонування силових кіл електровоза та на стан відповідних ламп індикації.

Виділимо такі позначення ламп: ГВ — відключення головного вимикача; РЗ — спрацювання реле заземлення; ВИП61, ВИП62 — пробій тиристора в одному із пліч випрямно-інверторного перетворювача; Р — в рекуперативному режимі відключені імпульси керування тиристорів ВИП61, ВИП62; ТД1 — ТД4 — відключений відповідний тяговий двигун.

Для синтезу структури САК використаємо математичний апарат секвенцій [2].

Введемо такі позначення: А1 — спрацювання однієї із сигнальних ламп ТД1, ТД2, ТД3 або

ТД4;  $\overline{A1}$  — не спрацювання однієї із сигнальних ламп ТД1, ТД2, ТД3 або ТД4;  $A2, \overline{A2}$  — спрацювання і не спрацювання сигнальної лампи ГВ;  $A3, \overline{A3}$  — спрацювання і не спрацювання сигнальної лампи Р;  $A4, \overline{A4}$  — спрацювання і не спрацювання сигнальної лампи ВИП61;  $A5, \overline{A5}$  — спрацювання і не спрацювання сигнальної лампи ВИП62;  $A6, \overline{A6}$  — спрацювання і не спрацювання сигнальної лампи РЗ.

Для фіксації стану сигнальної лампи будемо використовувати тригери Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 і Т6.

Введемо символи, що позначають певну комбінацію індикацій сигнальних ламп та відповідні інформаційні повідомлення вірогідних причин та способів усунення несправностей:

$Y_1$  — спрацювання швидкодіючого вимикача 51(52–54) від надвисоких струмів в колах тягових двигунів. Рекомендації машиністу: повторно включіть швидкодіючий вимикач. Якщо його відключення знову повториться, виключіть несправний двигун відповідним роз'єднувачем ОД1—ОД4 чи відключіть перетворювач ВИП61(62) перемикачем 81(82).

$Y_2$  — спрацювання реле заземлення силових кіл 88; замикання на «землю» в силовому колі тягових двигунів. Замикання на «землю» в силових колах перетворювача ВИП61, ВИП62. Замикання на «землю» в колах тягових обмоток силового трансформатора. Рекомендації машиністу: визначте тяговий двигун, в колі якого сталося замикання на «землю», після чого відповідним роз'єднувачем ОД1—ОД4 відключіть несправне коло з тяговим двигуном.

$Y_3$  — спрацювання одного з тягових реле РТ1 — РТ6 з причини наскрізного пробію тиристорів плеча ВИП. Рекомендації машиністу: відключіть несправний перетворювач. Переконайтесь, що перемикач 81 (82) перейшов у відключений стан. Повторне увімкнення ГВ до відключення несправного перетворювача забороняється.

$Y_4$  — спрацювання реле перевантаження РТВ1. Рекомендації машиністу: відновіть вказівник спрацювання реле РТВ1 і увімкніть ГВ. При повторному спрацюванні реле допускається робота електровоза в тяговому режимі.

$Y_5$  — пробитий один тиристор в одному із пліч перетворювача ВИП61 чи ВИП62. Рекомендації машиністу: прибувши у депо, замініть пробитий тиристор чи пошкоджені елементи RC — чи  $R_{ш}$  — кіл на ПТОЛ.

$Y_6$  — спрацювання реле заземлення 83 захисту від замикання на «землю». Замикання на «землю» кіл збудження. Замикання на «землю» в колах обмотки а4—а6 тягового трансформатора. Допускається робота електровоза тільки в тяговому режимі. Рекомендації машиністу: при пошкодженні обмотки трансформатора вимкніть несправну секцію перемикачем режимів.

Введемо в структуру САК тригер Т7, який використовується для подачі імпульсів у вигляді сигналу  $x$  в лічильник системи з часовими затримками  $\tau_1$  і  $\tau_2$  на переключення.

Для запам'ятовування імпульсів в процесі перерахунку введемо ще тригери Т8—Т13. Крім того, у структуру необхідно ввести ще тригер Т14 з відповідною затримкою часу  $\tau_3$  для повернення усіх тригерів у вихідний стан.

З урахуванням зазначених зауважень граф функціонування САК матиме вигляд, показаний на рис. 1.

Для обнулення тригерів та підготовки їх до робочого циклу в графі введено ще одну гілку, що описує сигнал  $R$ , який подається в структуру системи в момент подачі живлення. Для виведення інформаційного повідомлення будемо використо-

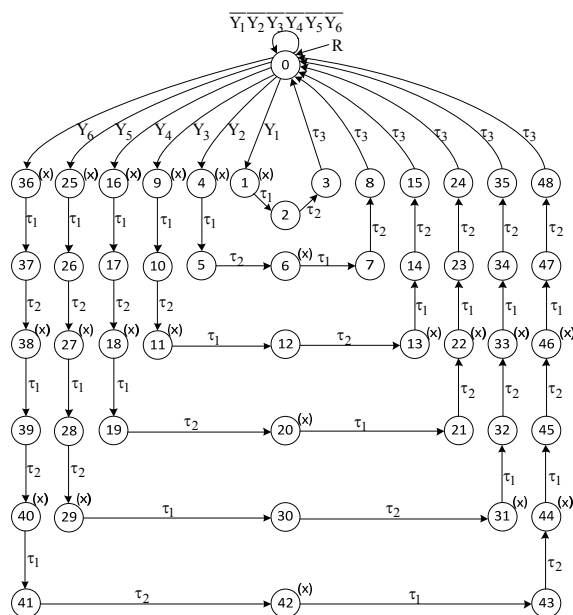


Рис. 1. Граф функціонування системи контролю технічного стану електричних кіл

увати записану в накопичувальний лічильник визначену кількість імпульсів. Так, записаний у лічильник один сигнал  $x$  сигналізуватиме виведення першого повідомлення і т. ін.

Аналітично функціонування системи може бути описано такою системою секвенцій:

$$\begin{array}{l}
 \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_0, \\
 R \vdash S_0, \\
 R Y_1 \overline{Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_1, \\
 \tau_1 S_1 \vdash S_2, \\
 \tau_2 S_2 \vdash S_3, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_4, \\
 \tau_1 S_4 \vdash S_5, \\
 \tau_2 S_5 \vdash S_6, \\
 \tau_1 S_6 \vdash S_7, \\
 \tau_2 S_7 \vdash S_8, \\
 \tau_3 S_8 \vdash S_0, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_4, \\
 \tau_1 S_4 \vdash S_5, \\
 \tau_2 S_5 \vdash S_6, \\
 \tau_1 S_6 \vdash S_7, \\
 \tau_2 S_7 \vdash S_8, \\
 \tau_3 S_8 \vdash S_0, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_9, \\
 \tau_1 S_9 \vdash S_{10}, \\
 \tau_2 S_{10} \vdash S_{11}, \\
 \tau_1 S_{11} \vdash S_{12}, \\
 \tau_2 S_{12} \vdash S_{13}, \\
 \tau_1 S_{13} \vdash S_{14}, \\
 \tau_2 S_{14} \vdash S_{15}, \\
 \tau_3 S_{15} \vdash S_0, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_{16}, \\
 \tau_1 S_{16} \vdash S_{17}, \\
 \tau_2 S_{17} \vdash S_{18}, \\
 \tau_1 S_{18} \vdash S_{19}, \\
 \tau_2 S_{19} \vdash S_{20}, \\
 \tau_1 S_{20} \vdash S_{21}, \\
 \tau_2 S_{21} \vdash S_{22}, \\
 \tau_1 S_{22} \vdash S_{23}, \\
 \tau_2 S_{23} \vdash S_{24}, \\
 \tau_3 S_{24} \vdash S_0, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_{25}, \\
 \tau_1 S_{25} \vdash S_{26}, \\
 \tau_2 S_{26} \vdash S_{27}, \\
 \tau_1 S_{27} \vdash S_{28}, \\
 \tau_2 S_{28} \vdash S_{29}, \\
 \tau_1 S_{29} \vdash S_{30}, \\
 \tau_2 S_{30} \vdash S_{31}, \\
 \tau_1 S_{31} \vdash S_{32}, \\
 \tau_2 S_{32} \vdash S_{33}, \\
 \tau_1 S_{33} \vdash S_{34}, \\
 \tau_2 S_{34} \vdash S_{35}, \\
 \tau_3 S_{35} \vdash S_0, \\
 R \overline{Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6} S_0 \vdash S_{36}, \\
 \tau_1 S_{36} \vdash S_{37}, \\
 \tau_2 S_{37} \vdash S_{38}, \\
 \tau_1 S_{38} \vdash S_{39}, \\
 \tau_2 S_{39} \vdash S_{40}, \\
 \tau_1 S_{40} \vdash S_{41}, \\
 \tau_2 S_{41} \vdash S_{42}, \\
 \tau_1 S_{42} \vdash S_{43}, \\
 \tau_2 S_{43} \vdash S_{44}, \\
 \tau_1 S_{44} \vdash S_{45}, \\
 \tau_2 S_{45} \vdash S_{46}, \\
 \tau_1 S_{46} \vdash S_{47}, \\
 \tau_1 S_{47} \vdash S_{48}, \\
 \tau_3 S_{48} \vdash S_0, \\
 S_1 \vee S_4 \vee S_6 \vee S_9 \vee S_{11} \vee S_{13} \vee \\
 \vee S_{16} \vee S_{18} \vee S_{20} \vee S_{22} \vee S_{25} \vee \\
 \vee S_{27} \vee S_{29} \vee S_{31} \vee S_{33} \vee S_{36} \vee \\
 \vee S_{38} \vee S_{40} \vee S_{42} \vee S_{44} \vee S_{46} \vdash x.
 \end{array} \tag{1}$$

Враховуючи громіздкість секвенціальної моделі, наведемо фрагмент для опису перших дев'яти станів системи:

$$\begin{aligned}
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_0, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_1, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_2, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_3, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_4, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_5, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_6, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vee \\
 & \vee \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_7, \\
 & \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13} T_{14}} \vdash S_8, \\
 & \dots\dots\dots
 \end{aligned} \tag{2}$$

Підставивши фрагмент (2) у секвенціальну модель (1) та здійснивши мінімізацію системи секвенціальних виразів, використовуючи властивості секвенцій [2, 3], отримаємо оптимальний еквівалент моделі системи у вигляді:

$$\begin{aligned}
 & RY_1 \vdash T_1 T_7, \\
 & RY_2 \vdash T_2 (T_4 \vee T_5 \vee T_4 T_5) T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_7 T_8 T_9 \vdash T_{10}, \\
 & RY_3 \vdash T_2 T_6 T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_7 T_8 T_9 T_{10} \vdash T_{11}, \\
 & RY_4 \vdash T_1 T_2 T_3 T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} \vdash T_{12}, \\
 & RY_5 \vdash (T_4 \vee T_5) T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} \vdash T_{13}, \\
 & RY_6 \vdash T_1 T_2 T_3 T_6 T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_1 T_8 \vdash T_{14}, \\
 & \tau_2 T_2 (T_4 \vee T_5 \vee T_4 T_5) \overline{T_9} \vdash T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_2 (T_4 \vee T_5 \vee T_4 T_5) T_9 \vdash T_{14}, \\
 & \tau_2 T_2 T_6 \overline{T_{10}} \vdash T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_2 T_6 T_{10} \vdash T_{14}, \\
 & \tau_2 T_1 T_2 T_3 \overline{T_{11}} \vdash T_7, \quad \tau_1 \tau_2 T_1 T_2 T_3 T_{11} \vdash T_{14}, \\
 & \tau_2 (T_4 \vee T_5) \overline{T_{12}} \vdash T_7, \quad \tau_1 \tau_2 (T_4 \vee T_5) T_{12} \vdash T_{14}, \\
 & \tau_2 T_1 T_2 T_3 T_6 \overline{T_{13}} \vdash T_{10}, \quad \tau_1 \tau_2 T_1 T_2 T_3 T_6 T_{13} \vdash T_{14}, \\
 & \tau_1 T_7 \vdash \overline{T_7}, \quad \tau_3 T_{14} \vdash \overline{T_{14}}, \\
 & T_7 \vdash T_8, \quad T_7 \vdash x, \\
 & \tau_1 \tau_2 T_7 T_8 \vdash T_9, \quad T_{14} \vdash \overline{T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 T_9 T_{10} T_{11} T_{12} T_{13}}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Отриманий в результаті мінімізації оптимальний еквівалент системи був протестований на працездатність на основі оригінального підходу щодо її формалізації, розробленого в роботі [4].

Цю оптимальну систему секвенцій і будемо в подальшому використовувати як математичну модель функціонування системи автоматичного контролю силових електричних кіл тягового електровоза. На підставі отриманої математичної моделі синтезуємо структурну схему системи конт-

ролю технічного стану силових електричних кіл. Схема, побудована за секвенціальною моделлю (3), показана на рис. 2.

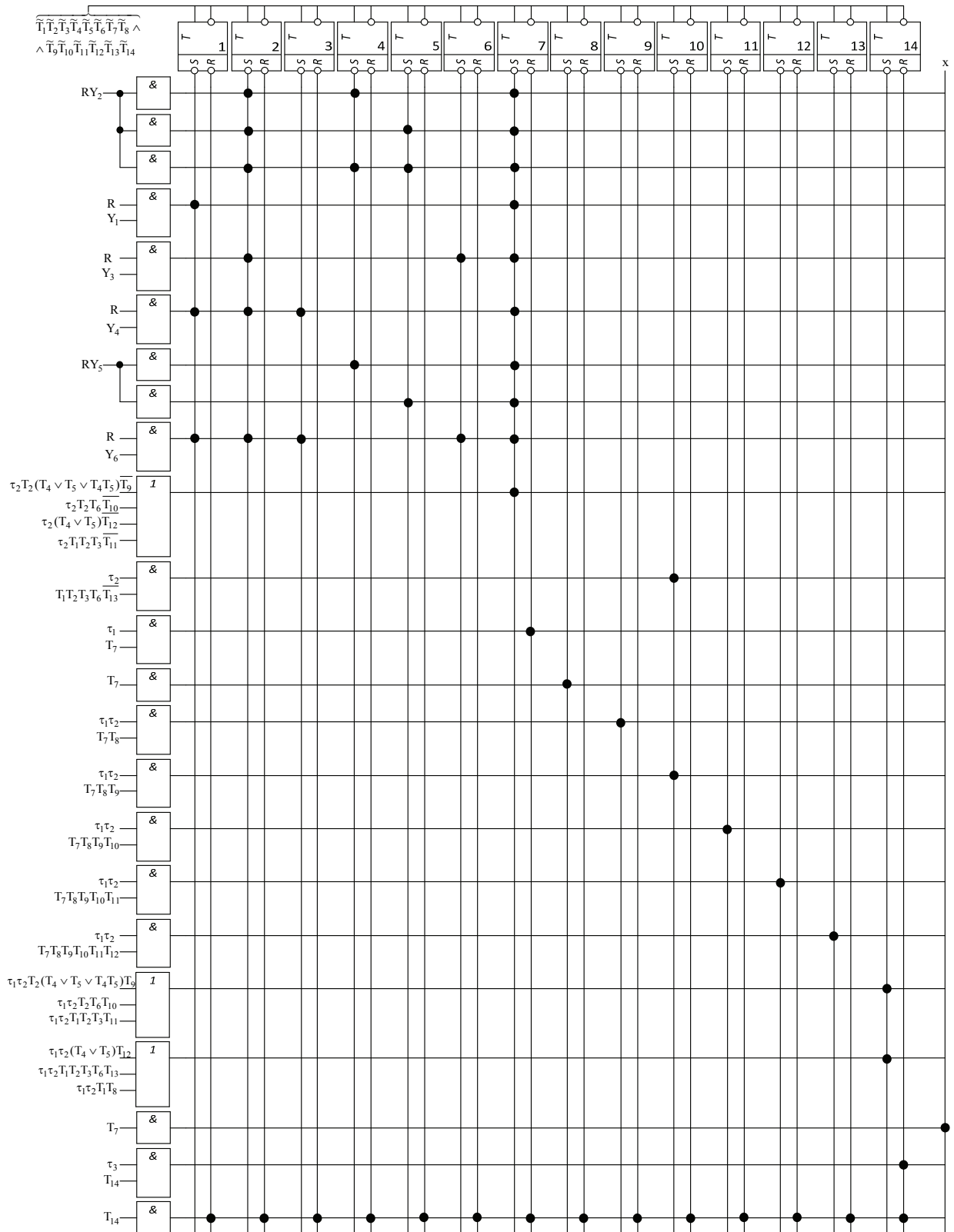


Рис. 2. Структурна схема пристрою контролю технічного стану силових електричних кіл

Вхідні сигнали та сигнали стану подаються на схеми суміщення. Кожному виходу зі схем суміщення відповідає свій рядок в діодній матриці. Місця включення діодів на схемі відмічені крапками. Кожному стовпцю цієї матриці відповідає один з виходів двостабільного елемента.

Запис  $\tilde{T}_1 \tilde{T}_2 \tilde{T}_3 \tilde{T}_4 \tilde{T}_5 \tilde{T}_6 \tilde{T}_7 \tilde{T}_8 \tilde{T}_9 \tilde{T}_{10} \tilde{T}_{11} \tilde{T}_{12} \tilde{T}_{13} \tilde{T}_{14}$  позначає кодову комбінацію станів, які подаються на входи схеми суміщення двостабільних елементів. Змінна  $\tilde{T}_s$  ( $s = 1, 2, \dots, 14$ ) може набувати значення  $T_s$  або  $\bar{T}_s$ .

Маючи структурну схему пристрою контролю, який реалізує секвенціальну модель САК, легко синтезувати функціональну та принципову схеми САК, що буде реалізовано у нашій наступній статті.

### Висновки

Використавши математичний апарат секвенцій, синтезовано структурну схему системи контролю силових електричних кіл тягового електровоза ВЛ80Р, в якій передбачено зручний для машиніста механізм виведення інформації про імовірну несправність та спосіб її усунення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Электровоз ВЛ80р. Руководство по эксплуатации / под ред. Б. А. Тушканова. — М. : Транспорт, 1985 — 541 с.
2. Захаров В. Н. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров. — М. : Энергия, 1975. — 130 л.
3. Лазарев В. Г. Синтез управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. — М. : Энергия, 1978 — 408 с.
4. Мокін Б. І. Новий метод моделювання секвенціального опису комп'ютеризованої системи [Електронний ресурс] / Мокін Б. І., Мокін В. Б., Жуков С. О. // Електронне фахове видання. Наукові праці ВНТУ. — 2008. — № 2. — Режим доступу до журн. : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1228/539>.

Рекомендована кафедрою відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

Стаття надійшла до редакції 23.09.2014

**Мокін Борис Іванович** — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;

**Лобатюк Юрій Анатолійович** — аспірант кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, e-mail: [lobatyuk-yura@yandex.ru](mailto:lobatyuk-yura@yandex.ru);

**Жуков Сергій Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**B. I. Mokin<sup>1</sup>**  
**Yu. A. Lobatiuk<sup>1</sup>**  
**S. O. Zhukov<sup>1</sup>**

## Synthesis of the structure of technical condition of power electric circuit of electric locomotive automatic control system

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The structure of the system of automatic monitoring of power circuits condition of electric locomotive VL80R is synthesized that allows to display on the scoreboard the probable cause of the problem and suggests a method of its elimination.*

**Keywords:** electric locomotive, electric circuit, control system, synthesis of structure, sequential model.

**Mokin Borys I.** — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport of Electrical Systems and Complexes;

**Lobatiuk Yurii A.** — Post-Graduate Student of the Chair of Renewable Energy and Transport of Electrical Systems and Complexes, e-mail: [lobatyuk-yura@yandex.ru](mailto:lobatyuk-yura@yandex.ru);

**Zhukov Sergii O.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Computer-Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics

**Б. И. Мокин<sup>1</sup>**  
**Ю. А. Лобатюк<sup>1</sup>**  
**С. А. Жуков<sup>1</sup>**

## **Синтез структуры системы автоматического контроля технического состояния силовых электрических цепей тягового электровоза**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*Синтезирована структура системы автоматического контроля технического состояния силовых цепей тягового электровоза ВЛ80Р, которая позволяет выводить на табло вероятную причину неисправности и предлагает метод ее устранения.*

**Ключевые слова:** тяговый электровоз, электрическая цепь, система контроля, синтез структуры, секвенциальная модель.

**Мокин Борис Иванович** — академик НАПН Украины, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры возобновляемой энергетики и транспортных электрических систем и комплексов;

**Лобатюк Юрий Анатольевич** — аспирант кафедры возобновляемой энергетики и транспортных электрических систем и комплексов, e-mail: lobatyuk-yura@yandex.ru;

**Жуков Сергей Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерного эколого-экономического мониторинга и инженерной графики